

**Translation of the abstract of DE 41 03 934 A1**

Aluminium alloy suitable for pistons.

Aluminium alloy for high temperature applications, comprising at least 9,0 weight % Si, 3,0 to 7,0 weight % Ni, 1,5 to 6,0 weight % Cu and at least one of Mg, Mn, V, Sc, Fe, Ti, Sr, Zn, B and Cr, the remaining portions aluminium and impurities.

( 3 )



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 41 03 934 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**C22 C 21/02**  
F 02 F 3/00  
F 16 J 1/01

⑳ Aktenzeichen: P 41 03 934.3  
㉔ Anmeldetag: 8. 2. 91  
㉕ Offenlegungstag: 13. 8. 92

DE 4103934 A1

㉚ Anmelder:  
Aluminum Company of America, Pittsburgh, Pa., US

㉛ Vertreter:  
Ruschke, H., Dipl.-Ing., 8000 München; Ruschke, O.,  
Dipl.-Ing., 1000 Berlin; Rotter, U., Dipl.-Chem.  
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000 München

㉞ Erfinder:  
Scott, Gerald D., Massena, N.Y., US; Shabel, Barrie  
S., Murrysville, Pa., US; Morales, Anthony,  
Bettendorf, Ia., US

- ⑤④ Für Kolben geeignete Aluminiumlegierung
- ⑤⑦ Aluminiumlegierung für Hochtemperaturanwendungen  
aus mindestens 9,0 Gew.-% Si, 3,0 bis 7,0 Gew.-% Ni, 1,5 bis  
6,0 Gew.-% Cu und mindestens einem Element aus der  
Gruppe Mg, Mn, V, Sc, Fe, Ti, Sr, Zn, B und Cr, Rest  
Aluminium und Verunreinigungen.

DE 4103934 A1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft Aluminiumlegierungen und insbesondere Al-Legierungen für Hochtemperaturanwendungen wie für Kolben und andere Teile von Verbrennungskraftmaschinen.

Es sind bereits Al-Legierungen für Kolben angegeben worden. Bspw. schlägt J. E. Hanafée in einem Aufsatz "Effect of Nickel on Hot Hardness of Aluminium-Silicon Alloys", Modern Castings, Oktober 1963, hierzu hypo- und hypereutektische Legierungen vor. Unter "hypereutektisch" verweist Hanafée dabei auf eine Legierung aus 4,70 Ni, 10,2 Si, 1,12 Cu, 1,16 Mg, 0,53 Fe und 0,18 Ti, Rest Al (jeweils in Gew.-%). Nach Hanafée könnte die Zugabe von Ni zu einer komplexeren Legierung deren Härte bei Raum- und erhöhter Temperatur durch Vergrößern des Volumens stabiler harte Teilchen verbessern. Er merkt jedoch an, daß beim Erwärmen bis 316°C (600°F) die Härte der Legierungen zunächst schnell abnahm und dann abhängig vom Ni-Anteil diese Härte bis zu 5 Std. bei Temperatur beibehielt. Weiterhin offenbaren Kersker u. a. (US-PS 46 81 736) eine Al-Legierung im wesentlichen aus Si = 14 bis 18, Fe = 0,4 bis 2, Cu = 4 bis 6, Mg bis zu 1, Ni = 4,5 bis 10, P = 0,001 bis 0,1 (rückgewonnen), Rest Kornfeinungsmittel, Al und zufällige Verunreinigungen.

Es ist daher ein Ziel der vorliegenden Erfindung, eine neue Al-Legierung anzugeben.

Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist eine neue Al-Legierung, die für Kolben in Verbrennungskraftmaschinen geeignet ist.

Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist eine neue Al-Legierung, die für Hochtemperatur-Anwendungen wie beispielsweise Verbrennungskraftmaschinen geeignet ist.

Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung eine neue, für geschmiedete Kolben geeignete Al-Legierung anzugeben.

Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung, eine neue, für gegossene Kolben geeignete Al-Legierung anzugeben.

Diese und andere Ziele der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung und den angefügten Ansprüchen. So besteht eine für Hochtemperaturanwendungen geeignete Al-Legierung aus mindestens 9,0 Gew.-% Si, 3,0 bis 7,0 Gew.-% Ni, 1,0 bis 6,0 Gew.-% Cu und mindestens einem Element aus der Gruppe Mg, Mn, V, Sc, Fe, Ti, Sr, Zn, B und Cr, Rest Al und Verunreinigungen.

Die erfindungsgemäße Legierung kann aus mindestens 9,0 Gew.-% Si, 3,0 bis 7,0 Gew.-% Ni, 1,5 bis 6,0 Gew.-% Cu und mindestens einem Element aus der Gruppe Mg, Mn, V, Sc, Fe, Ti, Sr, Zn, B und Cr, Rest Al, Zufallselemente und Verunreinigungen, bestehen. Verunreinigungen sind vorzugsweise jeweils auf etwa 0,05 Gew.-% und zusammen auf nicht mehr als 0,35 Gew.-% begrenzt.

Eine bevorzugte erfindungsgemäße Legierung kann 9,0 bis 14,0 Gew.-% (vorzugsweise 9,0 bis 13,0 Gew.-%) Si, 3,0 bis 6,0 Gew.-% Ni, 1,5 bis 5,0 Gew.-% (vorzugsweise 3,0 bis 5,0 Gew.-%) Cu, 0,8 Gew.-% (vorzugsweise max. 0,5 Gew.-%) Mg, max. 1,0 Gew.-% Mn, max. 0,3 Gew.-% V. Der Legierung können gewählte Elemente aus der Gruppe Sc, Fe, Ti, Sr, Zn, B und Cr hinzugefügt werden, bspw. wie folgt: max. 0,3 Gew.-% Sc, max.

0,3 Gew.-% (vorzugsweise 0,1 Gew.-%) Sr, max. 0,2 Gew.-% B und Cr, max. 0,6 Gew.-% Fe, max. 0,25 Gew.-% Ti und max. 0,5 Gew.-% Zn.

Eine typische Legierung kann 10 bis 11 Gew.-% Si, 4 bis 6 Gew.-% Ni, 2 bis 5 Gew.-% Cu, 0,1 bis 0,8 Gew.-% Mg, 0,05 bis 0,2 Gew.-% Mn, 0,01 bis 0,1 Gew.-% V, ggf. 0,05 bis 0,1 Gew.-% Sc, 0,05 bis 0,8 Gew.-% Fe, 0,03 bis 0,12 Gew.-% Ti, 0,005 bis 0,05 Gew.-% Sr, 0,05 bis 0,2 Gew.-% Zn, max. 0,1 Gew.-% B und max. 0,20 Gew.-% Cr enthalten.

Im Vergleich zu einer entsprechenden Legierung ohne Mg trägt Mg zu hoher Festigkeit bei erhöhter Temperatur bei. Ni führt zur Bildung von Nickel-Aluminid und trägt ebenfalls zur Hochtemperaturfestigkeit bei. Zuerst erscheint die metastabile Form  $Al_3Ni_2$ ; nach 1000 Std. bei 343 und 371°C (650 und 700°F) beginnt sich dann stabiles  $Al_3Ni$  zu bilden.

Mn, V, Sc, B, Cr und Ti werden als Kornfeinungsmittel hinzugegeben, Mn und andere Elemente zur weiteren Kornfeinung bei dieser speziellen Legierung. Sc hat im Einsatz den Effekt einer gewissen Kornfeinung, kann aber bei höheren Temperaturen eine Seigerung bewirken und trägt so zur Festigkeit der Legierung in Hochtemperaturanwendungen bei. D.h., daß Sc eine Alterung bei hoher Temperatur erfordert, um Seigerungen zu bilden. Es wirkt also bei dieser Art Legierungen als Verfestiger. Sr modifiziert und verfeinert Si-Teilchen zur Erhöhung der Duktilität und zur Verbesserung der Eigenschaften. Zn und Mg liefern Festigkeit für Niedrigtemperaturanwendungen. Der Mg-Anteil muß jedoch verhältnismäßig niedrig gehalten werden, um Wärmerisse beim Barrenguß zu vermeiden; weiterhin führt es bei hohen Temperaturen zur Bildung großer Teilchen, die die Eigenschaften beeinträchtigen. Eine definierte Menge Fe soll den Barrenguß unterstützen. B liegt typischerweise zusammen mit Ti vor, insbesondere wenn die Legierung mit einer Ti-B-Vorlegierung hergestellt wurde.

Das Vorliegen von Fe, Ni und Cu führt zur Bildung einer sekundären AlFeNiCu- oder AlFeNi-Phase, die hochstabil ist und ebenfalls zur Hochtemperaturfestigkeit beiträgt.

Die erfindungsgemäße Legierung zeichnet sich aus durch ihre Leistungsfähigkeit in gegossener Form bei hohen Temperaturen. Die besten Eigenschaften erhält man jedoch im geschmiedeten und wärmebehandelten Zustand. Eine Anwendung sind Guß- oder Schmiedekolben für Verbrennungskraftmaschinen und insbesondere solche hoher spezifischer Leistung mit höheren als den üblichen Arbeitstemperaturen.

Andere Anwendungen für die Legierung sind bspw. Motorblöcke, Zylinderköpfe, Kompressorengehäuse u. a., für die erhöhte Arbeitstemperaturen vorgegeben sind. Die Legierung erweist eine besonders gute Leistungsfähigkeit in Hochtemperatur-Dieselmotoren.

Die Legierung läßt sich zur Verwendung aus dem Guß- und Bearbeitungs- bzw. Schmiedezustand wärmebehandeln. Bspw. läßt sich der Vergütungs- oder "T5 temper" durch Erwärmen des Produkts im Gießzustand für die Dauer von 6 bis 12 Std. im Bereich von 204 bis 260°C (400 bis 500°F) erreichen; einen bevorzugten "T5 temper"-Zustand erreicht man durch Wärmebehandeln des Produkts im Gießzustand bei 218 bis 246°C (425 bis

475° F) für die Dauer von 7 bis 10 Std. Im T5-Zustand beträgt die Härte bei Temperatur ca. 66 bis 67 R<sub>B</sub>, was ca. 120 BHN entspricht.

Neben dem Guß ist die erfindungsgemäße Legierung auch in Pulverform für pulvermetallurgische Anwendungen geeignet. Wie zu ersehen sein wird, bringt die erfindungsgemäße Legierung den Nutzen einer verbesserten Hochtemperaturfestigkeit bei gleicher Abnutzungsfestigkeit und zufriedenstellender Gieß- und Bearbeitbarkeit. Weiterhin erbringt die stabile Dispersoidverfestigung durch Sc und Ni eine erhöhte Resistenz gegen Ermüdung und eine höhere Festigkeit. Die erfindungsgemäße Legierung hat den Vorteil einer verbesserten Festigkeit im Temperaturbereich von 260 bis 316° C (500 bis 600° F) und ist dennoch ohne Wärmerisse extrudierbar und schmiedbar genug zur Verwendung für geschmiedete Kolben.

Zusätzlich zur Zugabe der Legierungselemente in definierten Mengen, wie oben beschrieben, sollten die Legierungen bevorzugt nach speziellen Verfahrensschritten hergestellt werden, um die bestmöglichen Eigenschaften zu erzielen. So läßt sich die hier beschriebene Legierung als Barren oder Knüppel zur Weiterverarbeitung zu einem geeigneten Knetprodukt unter Verwendung herkömmlicher Verfahrensweisen vorsehen, von denen der Strangguß bevorzugt ist. Der Gußbarren läßt sich vorformen oder -bearbeiten zum Anlegen eines geeigneten Rohmaterialvorrats für die Weiterverarbeitung. Vor der Hauptbearbeitung wird der Legierungsvorrat bevorzugt homogenisiert, und zwar bevorzugt bei Metalltemperaturen von ca. 371 bis 538° C (700 bis 1000° F) für die Dauer von mindestens 1 Std., um Magnesium und Silizium oder andere lösliche Elemente zu lösen und das Metallgefüge zu homogenisieren. Eine bevorzugte Behandlungsdauer ist 2 Std. oder mehr im Temperaturbereich der Homogenisierungsbehandlung. Normalerweise brauchen das Aufwärmen und Homogenisieren nicht länger als 24 Std. zu dauern; längere Zeiten sind normalerweise jedoch nicht schädlich. Eine Dauer von 3 bis 12 Std. bei der Homogenisierungstemperatur hat sich als gut geeignet erwiesen.

Nach der Homogenisierungsbehandlung kann das Metall gewalzt, extrudiert oder sonstwie bearbeitet werden zur Herstellung bspw. eines Walz-, Strangpreß- oder eines anderen Produkts, das sich zum Endprodukt umformen läßt.

Zur Herstellung bspw. eines für das Schmieden von Kolben geeigneten Strangpreßprodukts wird der Knüppel vorzugsweise auf eine Temperatur zwischen 371 und 510° C (700 bis 950° F) erwärmt und das Auspressen in diesem Temperaturbereich begonnen. Typische Auspreßraten sind 3 bis 4 m/min (9 bis 12 ft./min.). Der Strang wird dann zerschnitten und zu Kolben geschmiedet. Zum Schmieden kann der Strangpreßling auf 316 bis 510° C (600 bis 950° F), vorzugsweise 400 bis 454° C (750 bis 850° F) werden; danach wird das Schmiedeprodukt lösungsgeglüht, abgeschreckt und gealtert. Das Lösungsglühen erfolgt bspw. im Temperaturbereich von 482 bis 538° C (900 bis 1000° F), vorzugsweise 510 bis 535° C (950 bis 995° F). Danach kann das Produkt rasch abgekühlt, bspw. mit Wasser abgeschreckt werden. Das Altern kann auf natürliche Weise, bevorzugt jedoch künstlich und in mehreren oder einer einzigen Stufe erfolgen, indem man das Produkt mindestens 3 Std. und typischerweise 10 bis 30 Std. einer Temperatur von 66 bis 288° C (150 bis 550° F), vorzugsweise 149 bis 204° C (300 bis 400° F) aussetzt. Für Sc-haltige Legierungen kann die Alterungstemperatur 260 bis 421° C (500 bis 790° F), typischerweise 260 bis 371° C (500 bis 700° F) sein. Die Produkte lassen sich dann auf geeignete Abmessungen abarbeiten.

Eine Legierung mit (in Gewichtsprozent) 12,4 Si, 0,41 Fe, 1,9 Cu, 0,06 Mn, 0,02 Mg, 3,8 Ni, 0,12 Cr, 0,11 Ti und 0,03 Sr wurde zu einem Barren vergossen. Der Barren wurde abgezogen, um den porösen Oberflächenbereich zu entfernen, und vor dem Auspressen auf etwa 427° C (800° F) erwärmt. Der Barren wurde beginnend mit 427° C (800° F) zu einem Durchmesser von 106 mm (4,16 in.) ausgepreßt und die ausgepreßte Legierung zu Kolben geschmiedet, die dann bei 520° C (968° F) lösungsgeglüht und 10 Std. bei 191° C (375° F) zum T6-Vergütungsstand gealtert wurden. Die mechanischen Eigenschaften der Kolben aus der erfindungsgemäßen Legierung im T6-Zustand sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt:

	Raumtemperatur		%E1 (%RA)	bei 316° C (600° F) (nach 100 Std. Expos.)		
	YS	TS		YS	TS	%E1 (%RA)
AA4032	315,8 (45,8)	360 (52,2)	4,8 (10)	40,7 (5,9)	51,0 (7,4)	34,3 (67,8)
Kolbenlegierung	142,1 (20,6)	269 (39,0)	6,0 (7,9)	44,8 (6,5)	57,9 (8,4)	27,0 (50,9)

(YS = Streckgrenze (MPa) (Klammerwerte: ksi); TS = Zugfestigkeit (MPa) (Klammerwerte: kpsi); E1 = Dehnung (%); RA = Flächenverminderung (%))

Zum Vergleich sind die typischen Eigenschaftswerte für die für Kolben benutzte Legierung AA4032 im T6-Zustand angegeben. Wie ersichtlich, erbringt die erfindungsgemäße Legierung eine erhebliche Zunahme der Streckgrenze und Zugfestigkeit bei 316° C (600° F).

#### Patentansprüche

1. Aluminiumlegierung für Hochtemperaturanwendungen aus mindestens 9,0 Gew.-% Si, 3,0 bis 7,0 Gew.-% Ni, 1,5 bis 6,0 Gew.-% Cu und mindestens einem Element aus der Gruppe Mg, Mn, V, Sc, Fe, Ti, Sr, Zn, B und Cr, Rest Al und Verunreinigungen.
2. Legierung nach Anspruch 1 mit 9,0 bis 14,0 Gew.-% Si.
3. Legierung nach Anspruch 1 mit 9,0 bis 13,0 Gew.-% Si.
4. Legierung nach Anspruch 1 mit 3,0 bis 6,0 Gew.-% Ni.
5. Legierung nach Anspruch 1 mit 3,0 bis 5,0 Gew.-% Cu.
6. Legierung nach Anspruch 1 mit max. 0,8 Gew.-% Mg.

7. Legierung nach Anspruch 1 mit max. 1,0 Gew.-% Mn.
8. Legierung nach Anspruch 1 mit max. 0,3 Gew.-% V.
9. Legierung nach Anspruch 1 mit max. 0,3 Gew.-% Sc.
10. Legierung nach Anspruch 1 mit max. 0,6 Gew.-% Fe.
11. Legierung nach Anspruch 1 mit max. 0,25 Gew.-% Ti.
12. Legierung nach Anspruch 1 mit max. 0,3 Gew.-% Sr.
13. Legierung nach Anspruch 1 mit max. 0,1 Gew.-% Sr.
14. Legierung nach Anspruch 1 mit max. 0,5 Gew.-% Zn.
15. Legierung nach Anspruch 1 mit max. 0,2 Gew.-% B.
16. Legierung nach Anspruch 1 mit max. 0,2 Gew.-% Cr.
17. Aluminiumlegierung für Hochtemperaturanwendungen aus mindestens 9,0 bis 13,0 Gew.-% Si, 3,0 bis 6,0 Gew.-% Ni, 3,0 bis 5,0 Gew.-% Cu und mindestens einem Element aus der Gruppe Mg, Mn, V, Sc, Fe, Ti, Sr, Zn, B und Cr, Rest Aluminium und Verunreinigungen.
18. Kolben aus einer Aluminiumlegierung aus mindestens 9,0 Gew.-% Si, 3,0 bis 7,0 Gew.-% Ni, 1,5 bis 6,0 Gew.-% Cu und mindestens einem Element aus der Gruppe Mg, Mn, V, Sc, Fe, Ti, Sr, Zn, B und Cr, Rest Aluminium und Verunreinigungen.
19. Kolben nach Anspruch 18 mit Si im Bereich von 9,0 bis 13,0 Gew.-%.
20. Kolben nach Anspruch 18 mit Si im Bereich von 9,0 bis 13,0 Gew.-%.
21. Kolben nach Anspruch 18 mit 3,0 bis 6,0 Gew.-% Ni.
22. Kolben nach Anspruch 18 mit 3,0 bis 5,0 Gew.-% Cu.
23. Kolben nach Anspruch 18 mit max. 0,8 Gew.-% Mg.
24. Kolben nach Anspruch 18 mit max. 1,0 Gew.-% Mn.
25. Kolben nach Anspruch 18 mit max. 0,3 Gew.-% V.
26. Kolben nach Anspruch 18 mit max. 0,3 Gew.-% Sc.
27. Kolben nach Anspruch 18 mit max. 0,6 Gew.-% Fe.
28. Kolben nach Anspruch 18 mit max. 0,25 Gew.-% Ti.
29. Kolben nach Anspruch 18 mit max. 0,3 Gew.-% Sr.
30. Kolben nach Anspruch 18 mit max. 0,1 Gew.-% Sr.
31. Kolben nach Anspruch 18 mit max. 0,5 Gew.-% Zn.
32. Kolben nach Anspruch 18 mit max. 0,2 Gew.-% B.
33. Kolben nach Anspruch 18 mit max. 0,2 Gew.-% Cr.
34. Kolben aus einer Aluminiumlegierung aus mindestens 9,0 bis 13,0 Gew.-% Si, 3,0 bis 6,0 Gew.-% Ni, 3,0 bis 5,0 Gew.-% Cu und mindestens einem Element aus der Gruppe Mg, Mn, V, Sc, Fe, Ti, Sr, Zn, B und Cr, Rest Aluminium und Verunreinigungen.
35. Verbrennungskraftmaschine mit einem Kolben aus einer Aluminiumlegierung aus mindestens 9,0 Gew.-% Si, 3,0 bis 7,0 Gew.-% Ni, 1,5 bis 6,0 Gew.-% Cu und mindestens einem Element aus der Gruppe Mg, Mn, V, Sc, Fe, Ti, Sr, Zn, B und Cr, Rest Aluminium und Verunreinigungen.
36. Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 35 mit Si im Bereich von 9,0 bis 14,0 Gew.-%.
37. Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 35 mit Si im Bereich von 9,0 bis 13,0 Gew.-%.
38. Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 35 mit Ni im Bereich von 3,0 bis 6,0 Gew.-%.
39. Verbrennungskraftmaschine nach Anspruch 35 mit Cu im Bereich von 3,0 bis 5,0 Gew.-%.
40. Verbrennungskraftmaschine mit einem Kolben aus einer Aluminiumlegierung aus mindestens 9,0 bis 13 Gew.-% Si, 3,0 bis 6,0 Gew.-% Ni, 3,0 bis 5,0 Gew.-% Cu und mindestens einem Element aus der Gruppe Mg, Mn, V, Sc, Fe, Ti, Sr, Zn, B und Cr, Rest Aluminium und Verunreinigungen.
41. Kolben nach Anspruch 18, der geschmiedet ist.
42. Kolben nach Anspruch 18, der gegossen ist.
43. Produkt aus einer für Hochtemperaturanwendungen geeigneten Aluminiumlegierung aus mindestens 9,0 Gew.-% Si, 3,0 bis 7,0 Gew.-% Ni, 1,5 bis 5,0 Gew.-% Cu und mindestens einem Element aus der Gruppe Mg, Mn, V, Sc, Fe, Ti, Sr, Zn, B und Cr, Rest Aluminium und Verunreinigungen.
44. Produkt aus einer für Hochtemperaturanwendungen geeigneten Aluminiumlegierung aus mindestens 9,0 bis 11,0 Gew.-% Si, 3,0 bis 6,0 Gew.-% Ni, 1,5 bis 5,0 Gew.-% Cu und mindestens einem Element aus der Gruppe Mg, Mn, V, Sc, Fe, Ti, Sr, Zn, B und Cr, Rest Aluminium und Verunreinigungen.
45. Al-Legierungsprodukt nach Anspruch 43, das geschmiedet ist.
46. Al-Legierungsprodukt nach Anspruch 43, das gegossen ist.
47. Al-Legierungsprodukt nach Anspruch 44, das geschmiedet ist.
48. Al-Legierungsprodukt nach Anspruch 44, das gegossen ist.